

Р. К. Мысик, С. В. Брусницын, А. В. Сулицин, И. В. Ожгихин, И. А. Груздева
ФГАОУ ВПО УрФУ им. Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург
kafedralp@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕДНЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ЛИТЬЕ НА УСТАНОВКЕ HAZELETT

В работе изучено влияние скорости литья кислородсодержащей меди в двухленточный водоохлаждаемый кристаллизатор на формирование макроструктуры непрерывнолитой заготовки. Выполнен металлографический анализ, в ходе которого установлена протяженность структурных зон, протяженность границ между структурными зонами и средний размер столбчатых зерен в поперечном сечении непрерывнолитых заготовок. В литой заготовке обнаружены такие дефекты, как крупные подкорковые и мелкие рассеянные газовые поры и неслитины. Сделан вывод о необходимости корректировки технологии литья с целью обеспечения качества литой заготовки.

Ключевые слова: медь, непрерывное литье, Hazelett, макроструктура, дефекты.

In this paper the effect of casting speed oxygen-copper in two-tape water-cooled crystallizer on the form of continuous cast copper bar macrostructure was studied. During the metallographic analysis the structural zones length, boundaries between structural areas and the average size of the columnar grains in the cross section of cast billets was established. In the cast bars defects such as large and small subcortical diffuse gas pores and cold shuts was detected. The need of adjust casting technology to ensure the quality of cast bar was concluded.

Key words: copper, continuous casting, Hazelett, macrostructure, defects.

Структура литых заготовок оказывает значительное влияние на процесс пластической деформации и вероятность образования дефектов при прокатке, прессовании, волочении и т. д. [1, 2, 3]. Нежелательным является наличие стыковых зон между растущими с разных направлений кристаллами. Наличие стыковых границ между зонами снижает технологичность литой заготовки при последующей пластической обработке. В слитках, имеющих такую структуру, возникают значительные напряжения, приводящие к возникновению трещин. Образование трещин по границам зерен объясняется резким снижением межзеренных связей в литом состоянии при крупнокристаллической структуре [4].

В работе проводился анализ структуры литых заготовок из меди марки М00 [5] прямоугольного сечения размером 120x70 мм, отлитых на установке HAZELETT [6] при разных скоростях литья: 7, 8, 9 и 10 м/мин. Температура литья составляла 1120 °С. В качестве шихтовых материалов использовались медные катоды и отходы собственного производства. Плавка меди производилась в шахтной газовой печи. Макроструктура медной литой заготовки представлена на рис. 1.



Рис. 1. Макроструктура медной литой заготовки

Анализ структуры показал, что при всех скоростях литья имеет место наличие четырех зон столбчатых кристаллов, имеющих различную протяженность и стыкующихся по пяти плоскостям. В этих структурных зонах наблюдаются различные по форме и протяженности кристаллиты. Так, например, в зоне заготовки, примыкающей к нижней литейной ленте, наблюдается наличие зоны мелких равноосных зерен (зона так называемых замороженных кристаллов). Наличие этой зоны свидетельствует о высокой интенсивности отвода теплоты от нижней части заготовки вследствие того, что она имеет плотный контакт с водоохлаждаемой литейной лентой. В результате металлографического анализа образцов литой заготовки определены основные параметры макроструктуры. Результаты анализа представлены в табл. 1–3.

Таблица 1

Протяженность структурных зон заготовки

Скорость литья, м/мин.	Протяженность структурных зон от соответствующей стороны к центру заготовки, мм			
	1	2	3	4
7	34,5	34,0	56,6	56,2
8	34,8	33,8	58,5	55,0
9	35,0	33,0	52,5	57,5
10	35,5	32,5	54,0	53,0

Примечание. Нумерация структурных зон приведена на рис. 2.

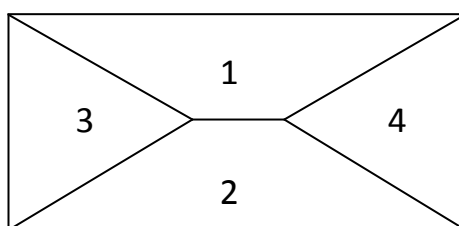


Рис. 2. Схема расположения структурных зон литой заготовки

Таблица 2

Протяженность границ между структурными зонами

Скорость литья, м/мин.	Протяженность границ между структурными зонами заготовки, мм					Суммарная протяженность границ, мм
	1–3	2–3	1–2	1–4	2–4	
7	59	58	9	56	56	238
8	60	58	14	55	56	243
9	57	56	20	61	59	253
10	59	57	26	59	57	258

Таблица 3

Средний размер столбчатых зерен в поперечном сечении

Скорость литья, м/мин.	Средний размер столбчатых зерен в поперечном сечении по структурным зонам заготовки, мм			
	1	2	3	4
7	2,26	1,91	1,83	2,06
8	1,94	1,60	1,57	1,70
9	1,63	1,40	1,42	1,54
10	1,41	1,25	1,30	1,37

Металлографический анализ макроструктуры литых заготовок показал, что протяженность структурных зон практически не зависит от скорости литья. Однако суммарная протяженность границ между структурными зонами увеличивается с повышением скорости литья. Так для скорости литья 7 м/мин. она составляет 238 мм, а для скорости литья 10 м/мин. – 258 мм.

В ходе работы определен средний размер столбчатых зерен в поперечном сечении по методу Салтыкова – Джеффиса [7] по структурным зонам заготовки. Выявлено отличие размера зерен в зависимости от расположения структурной зоны в заготовке. Причем более мелкие зерна наблюдаются в зоне 2 и 3. Это свидетельствует о том, что в этих зонах заготовки имеет место интенсивный теплоотвод от кристаллизующейся заготовки к охлаждающей воде. Металлографический анализ свидетельствует о различии в интенсивности теплоотвода с боковых поверхностей заготовки. Из данных табл. 3 видно, что с увеличением скорости литья размер

зерна уменьшается. Результаты проведенного исследования согласуются с ранее выполненными работами [8, 9, 10].

При анализе образцов, отобранных вдоль направления литья перпендикулярно широким граням заготовки, обнаружено скопление видимых невооруженным глазом (размером более 0,15 мм) газовых пор в верхней части заготовки (рис. 3). При каждой скорости литья отбирали четыре продольных темплета по ширине заготовки.



Рис. 3. Макроструктура продольного образца, отобранного от заготовки, полученной при скорости литья 10 м/мин.

Установлено, что с увеличением скорости литья количество видимых невооруженным глазом пор в верхней части заготовки возрастает. Так, при скорости литья 7 м/мин. суммарное количество обнаруженных пор в продольных темплетах составляет 262 шт., а при скорости литья 10 м/мин. – 397 шт. Необходимо отметить, что на макрошлифах обнаруживаются единичные поры, размер которых составляет от 2 до 6 мм.

Кроме крупных газовых пор, по всему сечению заготовок наблюдаются мелкие поры (размером менее 0,05 мм), которые равномерно распределены в заготовке (рис. 4).



Рис. 4. Мелкие газовые поры в сечении литой заготовки

Образование газовой пористости в медных заготовках связано с выделением в процессе затвердевания водорода, растворенного в металле [11]. Содержание водорода в расплаве определяется прежде всего содержанием водорода в исходных шихтовых материалах, количеством водорода, вносимого в расплав в процессе плавки и транспортировки расплава до формообразующего устройства. Поэтому необходимо исключить или свести

к минимуму возможность насыщения расплава газами. В качестве мер, позволяющих снизить содержание водорода в расплаве, можно предложить следующее: использование в плавку тщательно промытых и просушенных катодов без наростов на поверхности, исключение загрузки в плавильную печь влажных шихтовых материалов, применение внешних воздействий на расплав (например, вибрация, ультразвук, микролегирование, модифицирование) по мере его прохождения по литейному тракту [12, 13, 14].

Кроме внутренних дефектов, на верхней и нижней поверхностях литой заготовки наблюдаются неслитины различной протяженности. Причем на нижней поверхности их количество, протяженность и глубина залегания значительно больше (рис. 5).



Рис. 5. Неслитины на верхней (а) и нижней (б) поверхности литой заготовки

На нижней поверхности литой заготовки глубина залегания неслитин может достигать 2 мм. Наличие неслитин на поверхности заготовки может приводить к возникновению дефектов в катанке вследствие закатывания неслитин и окислов, находящихся под ними. Образование неслитин обусловлено низкой жидкотекучестью меди вследствие относительно низкой температуры литья и контактом с холодной лентой при входе металла в кристаллизатор.

Таким образом, действующая технология непрерывного литья меди на установке HAZELETT в полной мере не обеспечивает получение качественных литых заготовок для изготовления медной катанки. Требуется внесение изменений в технологию литья меди с целью устранения внутренних и наружных дефектов, а также получения благоприятной с точки зрения пластической обработки структуры литых заготовок.

Список литературы

1. Дефекты слитков черных и цветных сплавов, предназначенных для пластической деформации : учеб. пособие / С. В. Брусницын, Ю. Н. Логинов, Р. К. Мысик, И. А. Груздева, А. В. Сулицин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 167 с.

2. Мысик Р. К. Проблемы производства литых заготовок из меди / Р. К. Мысик, А. В. Сулицин, С. В. Брусницын, И. В. Ожгихин // Сибир. федерал. ун-т. Серия техника и технология. Т. 7, № 4. 2014. С. 394–399.
3. Самойлович Ю. А. Формирование слитка / Ю. А. Самойлович. М.: Металлургия, 1976. 552 с.
4. Логинов Ю. Н. Анизотропия механических свойств дендритной структуры непрерывнолитой кислородсодержащей меди / Ю. Н. Логинов, Р. К. Мысик, С. В. Брусницын, А. В. Сулицин, И. А. Груздева, С. Л. Смирнов // Процессы литья. 2009. № 3. С. 50–58.
5. ГОСТ 859-2001. Медь. Марки. М.: Стандартиформ, 2010. 7 с.
6. Райков Ю. Н. Обработка меди : учеб. пособие для вузов / Ю. Н. Райков. М.: «Институт Цветметобработки», 2006. 448 с.
7. ГОСТ 21073.2-75. Металлы цветные. Определение величины зерна методом подсчета зерен. М.: Стандартиформ, 2010. 3 с.
8. Логинов Ю. Н. Влияние направления кристаллизации на анизотропию пластического течения непрерывнолитой меди / Ю. Н. Логинов, Р. К. Мысик, А. В. Титов, В. А. Романов // Литейщик России. 2008. № 10. С. 36–38.
9. Логинов Ю. Н. Анизотропные характеристики непрерывнолитой кислородсодержащей меди / Ю. Н. Логинов, Р. К. Мысик, В. А. Романов // Литейщик России. 2008. № 3. С. 25–27.
10. Сулицин А. В. Исследование тепловых полей литой заготовки из меди в процессе кристаллизации в условиях совмещенного процесса литья и прокатки / А. В. Сулицин, Р. К. Мысик, С. В. Брусницын, В. А. Романов, И. В. Ожгихин // Цветные металлы. 2014. № 10. С. 78–82.
11. Мысик Р. К. Влияние технологических параметров подготовки расплава на процесс газонасыщения жидкой меди // Р. К. Мысик, С. В. Брусницын, А. В. Сулицин, И. В. Ожгихин, И. А. Груздева // Литейщик России. 2014. № 3. С. 43–46.
12. Брусницын С. В. Влияние электромагнитного перемешивания на качество слитков бериллиевой бронзы БРБ2 / С. В. Брусницын, Р. К. Мысик, И. А. Груздева, А. В. Сулицин // Литейщик России. 2007. № 11. С. 40–43.
13. Голоднов А. И. Влияние вибрационной обработки на структуру и свойства меди / А. И. Голоднов, А. В. Сулицин, Г. Л. Хазан // Расплавы. 2009. № 5. С. 38–44.
14. Сулицин А. В. К вопросу о механизме модифицирования меди / А. В. Сулицин, Р. К. Мысик, С. В. Брусницын, С. Л. Смирнов, М. В. Ильиных // Ученые записки Комсомол.-на-Амуре гос. тех. ун-та. 2010. № III, 1 (3). С. 73–81.